

## BAFRA OVASINDA DENİZ SUYU GİRİŞİMİNİN YERALTI SUYU KALİTESİ ÜZERİNE ETKİSİ \*

Hakan ARSLAN<sup>1</sup>

Yusuf DEMİR<sup>1</sup>

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü-Samsun

Sorumlu Yazar. Hakan ARSLAN

\* e-mail: harslan55@yahoo.com

Geliş Tarihi: 26.04.2010

Kabul Tarihi: 30.03.2011

**ÖZET:** Bu çalışmada Bafra Ovasında deniz suyu girişiminin yeraltı suyu kalitesi üzerine olan etkileri incelenmiştir. Bu amaçla ovada çiftçiler tarafından sulamada kullanılan 32 adet yeraltı suyu kuyusu belirlenmiş ve bu kuyulardan sulama mevsimi öncesi ve sulama mevsimi sonrası su numunesi alınmış ve bu sularda EC, pH, Na, Ca, K, Mg, CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub>, Cl ve SO<sub>4</sub> analizleri yapılmıştır. Yeraltı suyuna deniz suyu karışım oranını belirlemek için Cl değerleri kullanılmış ve böylece deniz suyu girişiminin boyutu belirlenmiştir. Deniz suyu girişi ile yeraltı suyunun kalite parametreleri arasındaki ilişkiler istatistiki olarak değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda ovanın kıyı bölgelerinde yeraltı suyuna deniz suyu girişi olduğu ve deniz suyu girişi ile yeraltı suyu kalite parametreleri arasında istatistiksel olarak önemli bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Deniz suyu girişiminin artması ile yeraltı suyunun EC ve SAR değerlerinin aşırı miktarda artış gösterdiği ve sulama suyu olarak bitkilerin kullanamayacağı değerlerin üzerine çıktığı belirlenmiştir.

**Anahtar Sözcükler:** Bafra Ovası, Deniz Suyu Girişimi, Yeraltı Suyu Kalitesi, Tuzluluk

### THE IMPACT OF SEA WATER INTRUSION ON QUALITY OF GROUNDWATER IN BAFRA PLAIN

**ABSTRACT:** This study analyzed the impact of sea water intrusion into the Bafra plain on quality of groundwater. Samples of groundwater were collected from the selected 32 different groundwater well, which were being used for irrigation by farmers, before and after the irrigation period, and EC, pH, Na, Ca, K, Mg, CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub>, Cl and SO<sub>4</sub> values were determined by using these samples. Cl values were used to reveal the rate of sea water entrance into the groundwater, and then the size of sea water intrusion was evaluated. The relationship between sea water entrance and the quality of groundwater was statistically analyzed. Research results showed that there had been sea water intrusion into the coastal part of the plain. Based on the results of statistical analysis, there was statistically significant relationship between sea water intrusion and the quality of groundwater. Research results also showed that EC and SAR values incredibly increased due to sea water intrusion into groundwater and reached to the unbeneficial levels for crops during irrigation.

**Key Words:** Bafra Plain, Seawater Intrusion, Groundwater Quality, Salinity

## 1. GİRİŞ

Dünyadaki toplam 1.386 milyon km<sup>3</sup> suyun %97'lik kısmı tuzlu sular, %3 lük kısmı ise tatlı sulardan oluşmaktadır. Bütün tatlı su kaynaklarının %68'inden fazlası buz ve buzulların içinde bulunmaktadır. Tatlı suyun diğer %30'u ise yeraltındadır. Nehirler, göller gibi yüzeysel tatlı su kaynakları, dünyadaki toplam suyun yaklaşık %0,0142'sini oluşturur. Bununla birlikte insanların her gün kullandığı su kaynağının çoğunu nehirler ve göller teşkil etmektedir. Bu durum ise sularımızın kirlenmeye karşı korunması gerektiğinin önemini göstermektedir (Anonymous, 2006).

Kıyı bölgelerinde bulunan aküferlerin büyük bir çoğunluğu deniz suyu girişi nedeniyle tuzlanma tehlikesi altındadır. Kıyı bölgelerindeki hidrojeolojik koşullara bağlı olarak tuzlu su kamasının kara içine doğru kilometrelerce ilerlediği görülmektedir. Özellikle turizm nedeniyle iç bölgelere göre içme ve kullanma suyu ihtiyacının yüksek olduğu kesimlerde tatlı su kaynaklarının doğru bir şekilde yönetilmesi, aküferin sürekli kullanılabilirliği açısından büyük önem taşımaktadır. Tuzlu su girişi tehlikesi altında olan aküferin hidrojeolojik çalışmalarda tuzluluğun kökeni ve tuzlu su girişi dinamiğinin anlaşılması, yeraltı suyu kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi

\*Doktora tezinden üretilmiştir.

açısından büyük bir önem taşımaktadır (Ekmekçi, 2008).

Dünyadaki yarı kurak ve kurak bölgelerin çoğunda, sulama suyundaki tuzluluk artışına bağlı olarak, tarım alanlarındaki tuzlulaşma artmakta ve tarımsal üretim engellenmektedir. Bu tip tuzlulaşma topografik olarak alçak alanlarda ve deniz kenarlarında, deniz suyunun sulama suyuna karıştığı bölgelerde görülmektedir (McKersie and Leshem, 1994). Türkiye, Mısır, Lübnan, Kıbrıs, Suriye ve Tunus'un Akdeniz'e kıyısı olan bölgelerinde deniz suyu girişi yaygın olarak görülen bir sorundur (FAO, 1997).

Kıyı aküferlerinde doğal koşulların etkili olduğu ve tatlı suyun basıncının tuzlu suyun basıncından büyük olduğu durumlarda tatlı su ve tuzlu su bir ara yüzey boyunca dengede bulunmakta ve tatlı su karadan denize doğru hareket etmektedir. Yoğunlukları farklı olan suların karışımı bu yüzey boyunca yalnızca moleküler difüzyon ile gerçekleşmektedir (Delleur, 1999; Kurttaş, 2002). Yeraltı su kaynaklarının tuzlanmasında çeşitli etkenler, çeşitli süreçlerde etkili olmaktadır. Deniz kıyısındaki aküferlerde karşılaşılan en önemli tuzlanma nedeni deniz suyu girişimidir (Richter ve Kreitler, 1993).

Aşırı yeraltı suyu çekimi yapılan alanlarda tuzlu ve tatlı suyun karışım bölgesi iç kısımlara doğru hareket etmektedir. Tuzlu bölgenin dışında önceden açılmış olan sondaj kuyuları, sonradan tuzlu bölgenin içerisinde kalmaktadır. Yeraltı suyunun sulamada kullanılmasına devam edilmesi durumunda, bitkilerde tuz etkisini gösterir ve arazilerde çoraklaşma oluşmaktadır. (Gualbert, 2001).

Yapılan çalışmalarda yeraltı suyunun Cl miktarının 250 mg/l nin üzerinde olduğu durumlarda yeraltı suyunun deniz suyunun etkisi altında olabileceği ve risk altında olduğu sonucuna varılmıştır (Andreasen ve ark., 1997). Türkiye genelinde, Ege Bölgesi İzmir - Gümüşlük yöresinde yetiştiriciliği yoğun olarak yapılan satsuma mandarini, bölge için ekonomik öneme sahip bir bitkidir. Son yıllarda, deniz suyunun yeraltı su kaynaklarına girişimi sonucunda, mandarin bahçelerinde tuzluluk probleminin ortaya çıktığı günümüze kadar yapılan çalışmalarla saptanmış ve tuzluluk sorununun, denizden uzaklaştıkça, azaldığı belirtilmiştir (Anaç ve ark., 1997).

Somay ve Filiz (2006), tarafından Küçük Menderes Nehri Kıyı Sulak Alanların Hidrojeokimyasal olarak değerlendirilmesi isimli çalışmalarında tuzlanma konusunda Cl'un iyi bir indikatör olduğu ve bunun nedeninin de bazı iyonların akım yolunda kimyasal değişime uğramasına rağmen klorürün hidrojeokimyasal olaylardan etkilenmemesi olduğu belirtilmiştir. Bu nedenle çalışma alanında bulunan yeraltı sularındaki deniz suyu karışım oranları Cl değerine göre (Custodio, 1987) hesaplanmışlardır. Çalışma sonucunda deniz suyu karışım oranlarının % 0.031 ile %11.20 arasında değiştiği belirlenmiş ve denizden 4 km içeride bulunan yeraltı suyunun Cl miktarının 2 000 mg/l olduğu bildirilmiş ve denizden iç kesimlere doğru ilerledikçe Cl miktarının azaldığı belirtilmiştir.

Sulama suları elektriksel iletkenlik değerine göre 4 sınıfta incelenebilir. EC değeri 0-0.25 dSm<sup>-1</sup> arasında olan sular birinci sınıf, 0.25-0.75 dSm<sup>-1</sup> arasında olanlar ikinci sınıf, 0.75-2.25 dSm<sup>-1</sup> arasında olanlar üçüncü sınıf ve 2.25 dSm<sup>-1</sup> den büyük olanlar ise dördüncü sınıf sular olarak ayrılır. Genel olarak birinci sınıf ve ikinci sınıf sular sulama için uygundur. Üçüncü sınıf sulama suları ise sulamada kullanılmakta, drenaj ve işletme koşulları altında yeterli ürün elde edilmekte ancak yıkamanın yapılmadığı, drenaj koşullarının kötü olduğu durumlarda tuzluluk sorunu ortaya çıkmaktadır. Dördüncü sınıf suların kullanımı az ise de bu sularla ancak tuza dayanıklı bitkiler yetiştirilebilir (Anonymous 1954).

Sularla toprağa iletilen tuzlar, bitki gelişmesi üzerine doğrudan ve dolaylı olmak üzere iki türde etki yapmaktadır. Dolaylı etkide tuzlar, toprakta birikerek toprak suyu ozmotik basıncının artmasına neden olurlar. Bu ise bitki köklerinin su alımını zorlaştırarak fizyolojik kuraklık etkisine neden olmaktadır. Doğrudan etkisi ise Cl, Na, HCO<sub>3</sub>, B gibi bazı iyonların bitki bünyesinde yüksek konsantrasyonlarda

birikerek bitki gelişmesini azaltma ya da durdurma şeklinde olmaktadır. (Kanber ve ark., 1992; Yurtseven, 1995).

Sodyum Adsorbsiyon Oranı (SAR) kavramı değişebilir sodyumun toprağın fiziksel özellikleri üzerine olan etkisine dayanmaktadır. Suların sınıflandırılmasında SAR değeri için belirli bir sınır değeri bulunmamaktadır. Suyun elektriksel iletkenlik değeri yükseldikçe aynı SAR değerine sahip suyun sodyumluluk sınıfı da farklılık göstermektedir. (Ayyıldız, 1990).

Kalıcı Sodyum Karbonat (RSC) değerine göre sulama sınıflandırılmasında 1.25 me/l değerinden küçük olan sular 1.sınıf, 1.25 - 2.50 me/l arasında olanlar 2.sınıf orta kullanılabilir, 2.50 me/l den fazla olanlar ise sulama açısından uygun bulunmamaktadır (Eaton, 1950).

Bu çalışma ile Bafra Ovasının kıyı bölgelerinde yeraltı suyuna deniz suyu girişiminin olup olmadığı araştırılmış ve deniz suyu girişiminin yeraltı suyu kalitesi üzerine olan etkileri incelenmiştir.

## 2. MATERYAL ve YÖNTEM

### 2. 1. Materyal

#### 2. 1. 1. Coğrafi Konum

Çalışma alanı ülkemizin kuzeyinde Orta Karadeniz Bölgesinde 41° 10' - 41° 45' Kuzey enlemleri ve 35° 30' - 36° 15' Doğu Boylamları arasında Kızılırmak ile yan derelerin oluşturduğu delta ovasında yer almaktadır. Bafra ovasının yüzölçümü 80 000 ha dır. Doğu – batı yönünde en uzun yer 60 km, kuzey – güney yönünde ise 32 km dir. Proje sahası Samsun İlinin 23 km batısında Çakırlar mevkiinden başlayıp, batıda Yakakent İlçesine kadar uzanmaktadır. Güneyi Orta Karadeniz bölümünün esas dağ sıralarını teşkil eden Canik sıra dağlarının uzantıları ile sınırlanmıştır(Anonymous, 1987). Araştırma sahasının konumu Şekil 1'de verilmiştir.

#### 2. 1. 2. İklim Özellikleri

Çalışma alanında Karadeniz Bölgesinin ılıman iklim özellikleri görülmektedir. Bafra Meteoroloji Müdürlüğünden alınan uzun yıllar ortalama gözlem sonuçlarına göre en yağışlı ay Aralık, en kurak ay ise Temmuzdur. Yıllık yağış toplamı uzun yıllar ortalamasına göre 754.9 mm dir. En sıcak ay (22.5 °C) Temmuz ayı ve en soğuk ay (5.7 °C) ise Ocak ayıdır.

#### 2. 1. 3. Toprak Özellikleri

Araştırma alanının toprakları Kızılırmak'ın getirdiği genç alüvyonlar tarafından oluşturulmuştur. Çalışma alanı Bafra İlçesinin altında 10 m kotunda başlayıp sahil kumullarına kadar olan bölümleri içermektedir. Göl ve deniz sedimentleri 2 m kotu altındaki Balık, Cernek ve Liman gölleri civarındaki alanlarda yer almışlardır.



Şekil 1. Araştırma alanının bölgedeki yeri ve konumu

Araştırma alanında toprak derinliği 1.5 m ve daha derindir. Toprak bünyesi killi olup geçirgenlikleri düşüktür. Toprakların büyük bir kısmı taşınma topraklardır. Biriktikleri yerlerde drenaj, havalanma ve kök işleme durumlarına bağlı olarak genellikle granüle ve blok yapıları elde etmişlerdir. 2 m kotu altındaki toprakların bir bölümü mineral, bir bölümü organikdir. Genel olarak 20 m derinliğe kadar bir akifer mevcut olup bariyer tabakası bunun altında yer almıştır.

#### 2. 1. 4. Su Kaynakları

Bafra Ovasının başlıca su kaynağı Kızılırmak Nehridir. Kızılırmak Nehri Derbent köyü mevkiinden ovaya girmekte ve ovayı iki parçaya ayırarak denize dökülmektedir.

Çalışma alanındaki sulama tesisleri; Suyunu 1991 yılında hizmete giren Derbent Barajı ve Hidroelektrik Santralinin kuyuksuyundan alan ve inşaatı 1991 yılından itibaren devam eden 14 279 ha'lık alanı kapsayan sulama – drenaj şebekesidir. 2009 yılı sonu itibarı ile 10 000 ha'lık alan sulamaya açılmış durumdadır.

Çalışma sahasında henüz sulama şebekesinin tamamlanamadığı veya şebekenin tamamlanarak sulamaya açılan alanlarda farklı nedenler ile şebekeden sulama yapamayan çiftçiler yeraltı suyundan veya drenaj kanallarından sulama

yapmaktadır. Alanda sulama mevsimi 20 Nisan da başlayıp, 30 Eylül de sona ermektedir.

Altinkaya ve Derbent Barajlarının faaliyete geçmesinden sonra Kızılırmak Nehrinden gelen rusubat malzemesi akışı kesilmiştir. Bunun bir sonucu olarak Kızılırmak-Karadeniz birleşiminde kıyı erozyonu başlamış ve 1988 ile 2000 yılları arasında Kızılırmak nehrinin Karadeniz'e döküldüğü noktada denizin 800 m içeriye geldiği belirlenmiş ve Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından ovada kıyı erozyonunu önlemek için bazı önlemler alınmıştır. Proje kapsamında 2008 yılına kadar 11 adet kıyı koruma mahmuzu inşa edilerek, erozyon önlenmeye çalışılmıştır.

## 2. 2. Yöntem

### 2. 2. 1. Örnek Alınacak Yeraltı Suyu Kuyularının Tespit Edilmesi ve Su Örneklerinin Alınması

Çalışma alanında deniz suyu girişiminin yeraltı suyu kalitesine olan etkilerini belirlemek için çiftçilerin sulamada kullandıkları yeraltı suyu kuyuları kullanılmıştır. Bu amaçla arazide bulunan yeraltı suyu kuyularının 32 tanesinden sulama mevsiminin başı olan Nisan 2008 ve sulama mevsiminin sonu olan Eylül 2008 tarihlerinde su örnekleri alınmıştır. Yeraltı suyu kuyuları Kızılırmak Nehri ile denizin birleştiği noktadan başlamak üzere yaklaşık 11.5 km doğu istikametinde ve deniz kenarından başlayarak 8.5 km iç kesimlerde bulunmaktadır. Şekil 2. de görüleceği üzere örnek alınan kuyular denizin etkisinin net bir şekilde ortaya konulması amacıyla denize yakın olan bölümlerde yoğunlaşmıştır.

Su örneklerinin alınmasında Ayyıldız (1990)'da verilen kriterler kullanılmıştır. Yeraltı suyu kuyularından alınan örneklerde pompalar bir müddet çalıştırılmış, pompa içinde ve borularda bulunan suların dışarı tamamen atılmasından 15 - 20 dakika sonra su örnekleri alınmıştır. Örnekler ikişer litrelik lastik tıpalı şişelere alınmış ve kuyu numaraları ile etiketlenmiştir. Çalışma alanına ait suların özelliklerinin belirlenmesi amacıyla örnekler üzerinde EC, pH, Na, Ca, K, Mg, CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub>, Cl ve SO<sub>4</sub> analizleri yapılmıştır. Su ve toprak numunesi alınan noktalar Şekil 2.'de verilmektedir.

### 2. 2. 2. Deniz Suyu Girişiminin Belirlenmesi

Çalışma kapsamında deniz suyu girişiminin belirlenmesi amacıyla deniz suyu ile yeraltı suyu arasındaki karışım oranının Cl' a göre matematiksel olarak hesaplanması yöntemi kullanılmıştır (Custodio, 1987) . Hesaplama Eşitlik 1. den yararlanılmıştır.

$$C_M = X * C_F + (1 - X) * C_s \frac{p_f}{p_s - p_f} * h_f$$

$$X = (C_s - C_M) / (C_s - C_F)$$

$$S = (1 - X) * 100$$

Eşitlik de;  
 $C_M$  = Karışım suyunun konsantrasyonu  
 $C_F$  = Tatlı suyun konsantrasyonu  
 $C_S$  = Deniz suyunun konsantrasyonu  
 $X$  = Tatlı su karışım yüzdesi  
 $S$  = Deniz suyu karışım yüzdesi



Şekil 2. Su örnekleri alınan noktalar

Eşitlikte, tatlı suyun klor içeriği olarak çalışma sahasındaki en düşük değere sahip olan ve alan üzerinde etkili olan kaynaklara ait değerlerin alınması öngörülmüştür. Bu nedenle çalışmada, Bafra Ovasının sulanmasının temel su kaynağı olan Kızılırmak Nehrinin klor içeriği dikkate alınmıştır. Kızılırmak nehrinin klor içeriği 170 mg/l dir. Hesaplama için dünya ortalaması olarak kabul edilen 19.000 mg/l değeri kullanılmıştır.

### 2. 2. 3. Deniz Suyu Girişiminin Yeraltı Suyu Kalitesi Üzerine Etkisi

Çalışma alanında yeraltı suyu kalitesinin deniz suyu girişiminden nasıl etkilendiğini belirlemek amacıyla yeraltı sularından alınan örneklerdeki EC, pH, Na, Ca, K, Mg,  $CO_3$ ,  $HCO_3$ , Cl ve  $SO_4$  değerleri incelenmiş, su kalitesinin denizden etkilenme durumları araştırılmıştır. Sulama suyu kalitesinin

değerlendirilmesi için sulama mevsiminin başlangıcı olan nisan ve sulama mevsiminin sonu olan eylül aylarındaki veriler kullanılmıştır. Çalışma kapsamında sulama mevsimi öncesi ve sulama mevsimi sonrası dönemlere ait yeraltı suyuna deniz suyu karışım haritası ile EC, SAR ve RSC durumlarını gösteren haritalar hazırlanmıştır.

### 2. 2. 4. İstatistiksel Analizler

Araştırma sahasında deniz suyu girişiminin yeraltı suyu kalitesi ve toprak özellikleri üzerine olan etkilerini belirlemek amacıyla Pearson korelasyon analizi uygulanmıştır. Ayrıca çalışma kapsamında alınan verilerin ortalama, en düşük, en yüksek değerleri ile standart sapma ve varyasyon katsayıları belirlenmiş ve değerlendirmelerde kullanılmıştır. Korelasyon yönteminde öncelikle deniz suyu girişiminin yeraltı suyu kalite parametreleri üzerine olan etkileri ve yeraltı suyu kalite parametreleri ile denize uzaklık arasındaki ilişkiler belirlenmeye çalışılmıştır.

## 3. BULGULAR

### 3. 1. Deniz Suyu Girişimi

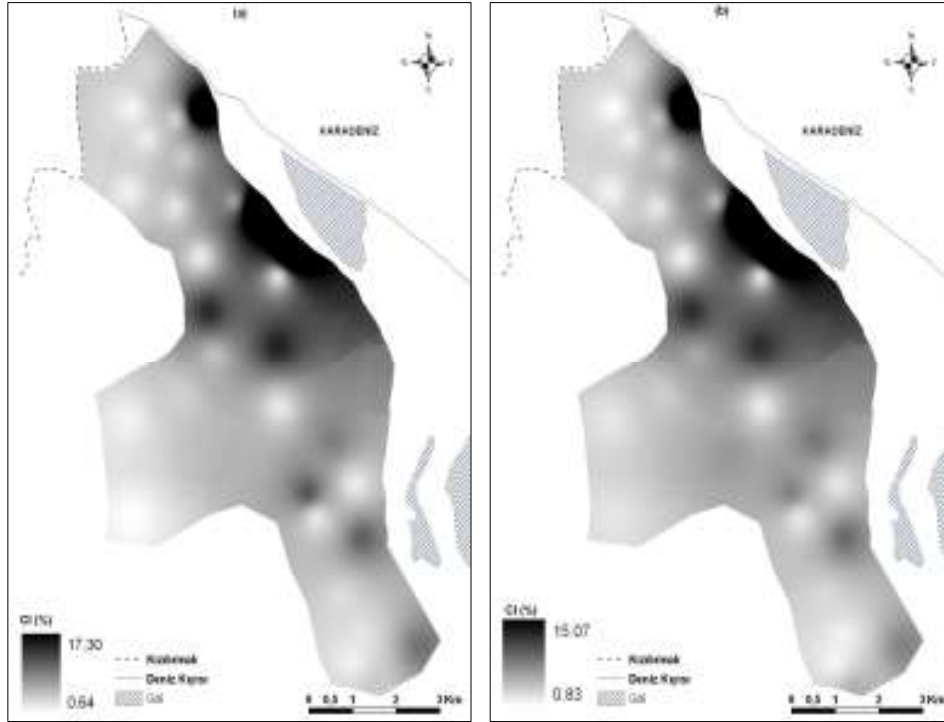
Çalışma kapsamında Bafra Ovası Sağ Sahil sulama alanında tespit edilen 32 adet yeraltı suyu kuyusundan sulama mevsimi öncesi ve sulama mevsimi sonrasında alınan su örneklerindeki ortalama, en düşük ve en yüksek değerler Çizelge 1.de verilmiştir.

Kim ve Park (1998), Kurttaş (2002) ve Zakhem ve Hafız (2007) yapmış oldukları çalışmalarda yeraltısularına deniz suyu karışım oranlarını Cl değerlerini kullanarak matematiksel olarak belirlemişlerdir. Çalışma alanında bulunan yeraltısularındaki sulama öncesi ve sulama sonrası dönemlerde deniz suyu karışım oranları Cl değerlerine göre Eşitlik 1. yardımıyla hesaplanmıştır. Elde edilen değerlere göre deniz suyu girişim haritaları hazırlanmış ve haritalar Şekil 3.'de verilmiştir.

Şekil 3. incelendiğinde çalışma alanındaki yeraltı suyuna deniz suyu karışım oranlarının sulama öncesi dönemde %0.64 ile % 17.30 arasında değiştiği belirlenmiştir. Aynı şekilde sulama mevsimi sonrasında ise deniz suyu karışım oranları %0.83 ile % 15.07 değerleri arasında değiştiği tespit edilmiştir. Bu değerler alanda yeraltı suyuna aşırı derecede deniz suyu girişimini olduğunu göstermiştir. Deniz suyu girişiminin mevsimsel olarak çok fazla değişim göstermemesi ise sulamanın olmadığı kış dönemlerinde bile yeraltı suyunda deniz etkisinin aşırı derecede olduğunu göstermektedir.

**Çizelge 1.** Yeraltı suyu örneklerine ait bazı istatistikî değerler

Parametre	Sulamadan Önce			Sulamadan Sonra		
	Ortalama	En Düşük	En Yüksek	Ortalama	En Düşük	En Yüksek
EC (dS/m)	4,20	1,93	11,00	4,07	1,85	10,35
pH	7,65	7,20	8,40	7,59	7,30	8,00
Na (me/l)	31,11	10,26	111,60	28,34	10,44	101,10
K(me/l)	0,61	0,09	5,12	0,65	0,11	4,10
Ca(me/l)	4,63	1,90	8,70	5,09	1,48	8,52
Mg(me/l)	10,80	3,80	25,70	10,25	3,40	21,61
HCO <sub>3</sub> (me/l)	15,10	6,90	26,50	14,39	6,90	26,60
Cl (me/l)	25,39	8,20	97,00	24,89	9,20	84,82
SO <sub>4</sub> (me/l)	6,66	0,84	14,69	5,05	0,22	14,06
SAR	11,40	3,16	35,93	10,50	3,27	33,96



**Şekil 3.** Klor'a göre hesaplanmış deniz suyu karışım oranları (a) sulama öncesi ve (b) sulama sonrası dönem

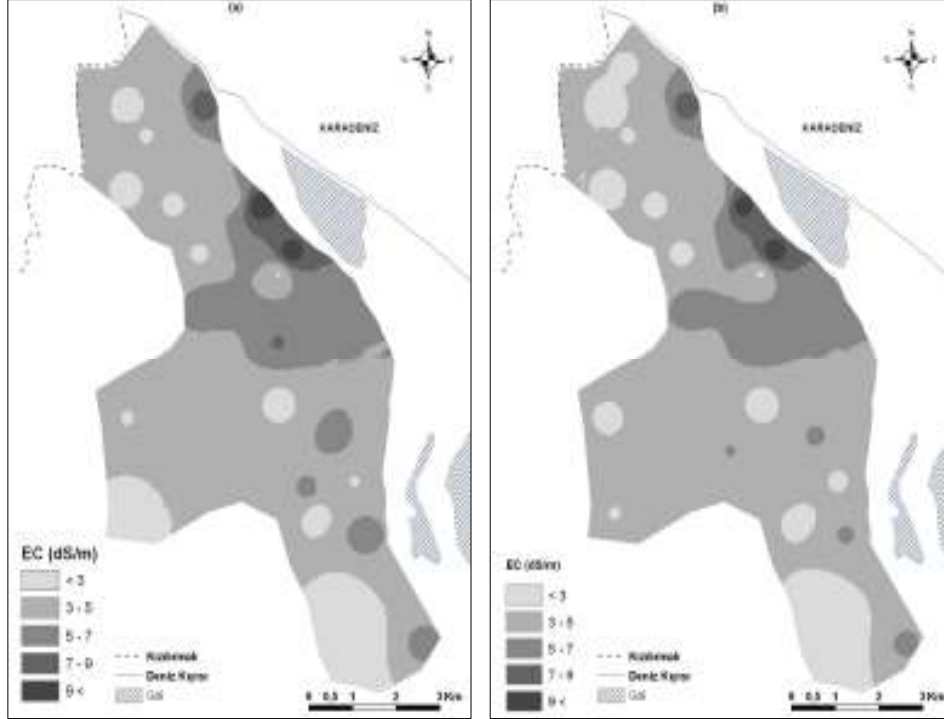
### **3. 2. Deniz Suyu Girişiminin Yeraltı Suyu Kalitesi Üzerine Etkisi**

Araştırma sahasındaki yeraltı suyunun sulamadan önceki ve sulamadan sonraki dönemlerine ait EC değerleri Çizelge 1. de verilmiştir. Çizelge 1 incelendiğinde yeraltı suyunun EC değerlerinin sulama mevsiminden önce 1.93 dS/m ile 11.00 dS/m arasında ve sulama mevsimi sonrasında ise 1.85 dS/m ile 10.35 dS/m arasında değiştiği belirlenmiştir. Çalışma alanında sulama mevsimi öncesi ve sulama

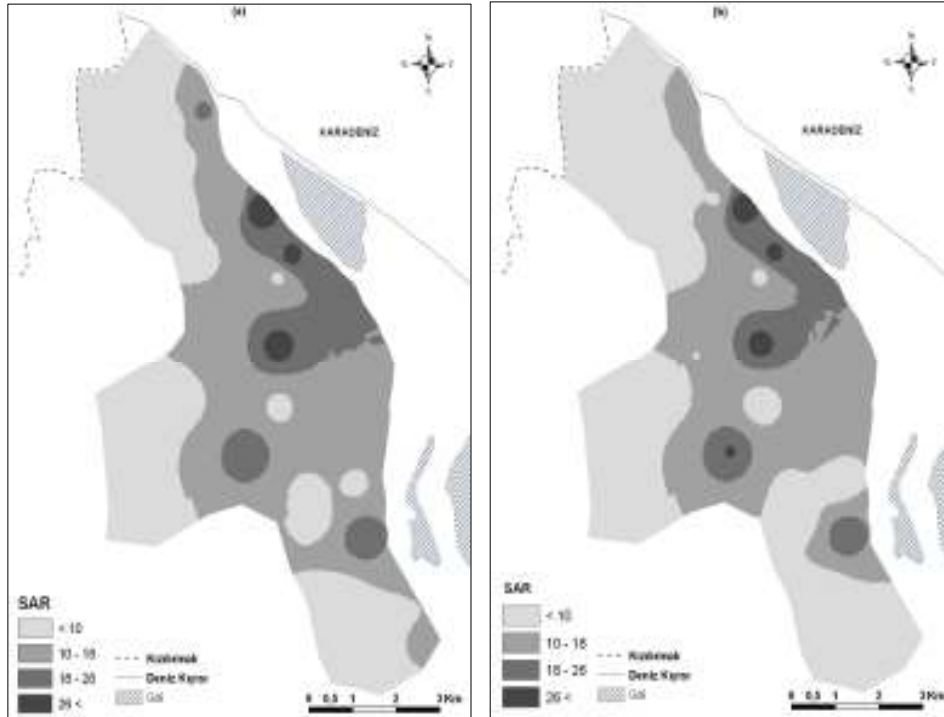
mevsimi sonrası yeraltı suyunun EC dağılımını gösteren haritalar Şekil 4. de verilmiştir. Haritalar incelendiğinde alanın büyük bölümünde yeraltı suyunun EC değerinin sulama suyu olarak kullanılabilir değerlerin çok üzerinde olduğu belirlenmiştir. Bu durum ise deniz suyu girişimi sonucunda yer altı suyunun aşırı derecede tuzlandığını göstermiştir. EC değerinin Kızılırmak nehrine yaklaştıkça ve denizden uzaklaştıkça azaldığı görülmektedir. Çalışma sahasındaki yeraltı suyunun

sulamadan önceki ve sulamadan sonraki dönemlerine ait SAR değerleri Çizelge 1. de verilmiştir. Çizelge 1. incelendiğinde yeraltı suyunun SAR değerinin sulama mevsimi öncesi 3.16 ile 35.93 arasında ve sulama sonrası dönemde ise 3.27 ile 33.96 arasında değiştiği

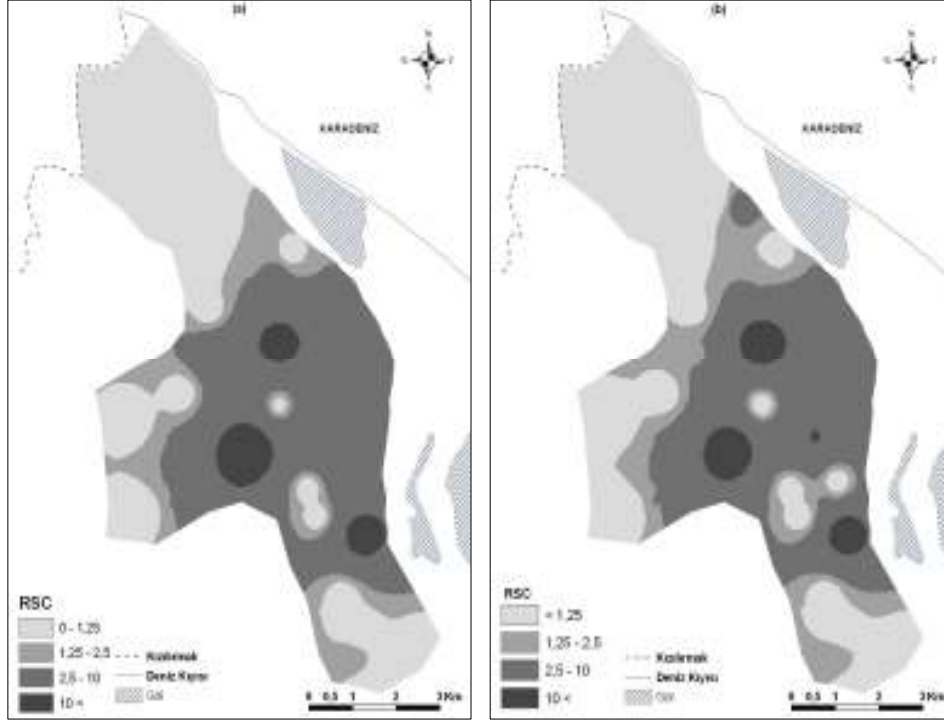
belirlenmiştir. Çalışma alanında yeraltı suyunun sulama mevsimi öncesi ve sulama mevsimi sonrası SAR durumlarını gösteren haritalar Şekil 5. de verilmiştir.



Şekil 4. Yeraltı suyunun (a) sulama önce ve (b) sulama sonra EC (dS/m) değeri



Şekil 5. Yeraltı suyunun (a) sulama önce ve (b) sulama sonra SAR değeri



Şekil 6. Yeraltı suyunun RSC Değeri (a) sulamadan önce, (b) sulamadan sonra

Deniz suyu girişimi sonucunda alandaki yeraltı suyunun aşırı derecede etkilendiği ve alanın büyük bölümünde yeraltı suyunun SAR değerlerinin, sulama suyu olarak kullanılabilir değerlerin çok üzerinde olduğu belirlenmiştir. SAR değerinin Kızılırmak nehrine yaklaştıkça ve denizden uzaklaştıkça azaldığı görülmektedir.

Yeraltı suyunun sulamadan önceki ve sulamadan sonraki dönemlerine ait RSC değerlerini gösteren haritalar Şekil 6'da verilmiştir. Şekil incelendiğinde alanın Kızılırmak nehrine yakın ve denizden uzak olan bölümlerinde RSC değerinin düşük olduğu diğer bölümlerde ise bitkiler için sınır olan 2.5 değerinden büyük olduğu görülmektedir.

Sulama öncesi ve sulama sonrası dönemlerde deniz suyu girişiminin yeraltı suyu kalite parametreleri üzerine olan etkilerini belirlemek için Pearson korelasyon yöntemi uygulanmıştır. Deniz suyu girişimlerinde Cl iyi bir gösterge olması nedeni ile sulama öncesi ve sulama sonrası dönemlere ait Cl'a göre belirlenmiş olan deniz suyu karışım oranları ile aynı dönemdeki yeraltı suyu kalite parametreleri arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Sulama öncesi ve sulama sonrası dönemlerdeki deniz suyu karışım

oranları ile yeraltı suyu kalite parametreleri arasındaki ilişki Çizelge 2'de verilmiştir.

Deniz suyu karışım oranları ile yeraltı suyunun kalite parametreleri arasındaki ilişkilerin verildiği Çizelge 2. incelendiğinde, deniz suyu karışım oranı ile yeraltı suyunun EC, Na, HCO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub> ve SAR değerleri arasındaki korelasyon sulama öncesinde %1 seviyesine göre önemli bulunmuştur. Deniz suyu karışım oranı ile suyun pH ve RSC değerleri arasında ise her hangi bir ilişki bulunamamıştır.

Sulama sonrası dönemine ait deniz suyu karışım oranları ile yeraltı suyunun kalite parametreleri arasındaki ilişki incelendiğinde, deniz suyu karışım oranı ile yeraltı suyunun EC, Na, HCO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub> ve SAR değerleri arasındaki korelasyon %1 seviyesine göre önemli bulunmuştur. Deniz suyu karışım oranı ile suyun pH ve RSC değerleri arasında ise her hangi bir ilişki bulunamamıştır.

Yeraltı suyuna deniz suyu karışım oranlarına ait haritalar ile yeraltı suyunun EC ve SAR haritaları birlikte incelendiğinde deniz suyu karışım oranının yüksek olduğu alanlarda, yeraltı suyunun EC ve SAR değerinin de hem sulamadan önce hem de sulamadan sonra yüksek olduğu görülmektedir.

Çizelge 2. Sulama öncesi ve sulama sonrası dönemlerdeki deniz suyu karışım oranları ile yeraltı suyu kalite parametreleri arasındaki ilişki

	Dönem	pH	EC	Na	HCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	SAR	RSC
Deniz suyu karışım oranı (%)	Sulamadan önce	-0.096	0.972**	0.958**	0.563**	0.507**	0.824**	0.061
	Sulamadan sonra	-0.075	0.973**	0.954**	0.591**	0.642**	0.805**	0.108

#### 4. SONUÇ

Bu çalışmada ile Bafra Ovasının kıyı bölgelerinde yeraltı suyuna deniz suyu girişiminin olup olmadığı araştırılmış ve deniz suyu girişiminin yeraltı suyu kalitesi üzerine olan etkileri belirlenmeye çalışılmıştır. Deniz suyunun yeraltı suyuna karışım oranını matematiksel olarak belirlemede Cl içeriği değeri kullanılmıştır. Klor değerine göre yapılan hesaplamada, alanda deniz suyu karışım oranının sulama mevsiminden önce % 0.64 ile % 17.30 ve sulama mevsiminden sonra ise % 0.83 ile % 15.07 arasında değiştiği belirlenmiştir. Bu değerler sulama öncesi ve sulama sonrasında deniz suyu girişiminin değişmediğini göstermektedir. Bu ise deniz suyu girişiminin bir yıllık bir süreç içerisinde değişmeyeceğini ve deniz suyu girişimi olmuş bir aküferin ise eski haline gelmesinin uzun zaman alacağını göstermiştir. Deniz suyu karışım oranlarının Kızılırmak nehrine yaklaştıkça ve denizden uzaklaştıkça azaldığı görülmüştür. Yapılan çalışma sonucunda Bafra Ovasının kıyı bölgelerinde yeraltı suyuna aşırı derecede deniz suyu girişimi olduğu belirlenmiştir.

Klor'a göre hesaplanmış deniz suyu karışım oranı ile yeraltı suyunun EC, Na, HCO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub> ve SAR değerleri arasındaki korelasyonun %1 düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir. Deniz suyu girişiminin fazla olduğu kuyularda, yeraltı suyunun EC, Na gibi değerlerinin arttığı, sodyuma bağlı olarak SAR değerlerinde de artış olduğu tespit edilmiştir. Deniz suyu girişiminin şiddetine göre yeraltı suyunun kalite parametrelerinin olumsuz yönde etkilendiği ve birçok kuyunun sulamada kullanılmaması gerektiği tespit edilmiştir.

Sulamada kullanılan yeraltı sularının kalite sınıflandırması yapıldığında alanda suların EC değerlerinin 11,00 dSm<sup>-1</sup> ye kadar yükseldiği ve bir çok noktada 5.00 dSm<sup>-1</sup> nin üzerine çıktığı belirlenmiştir. EC'nin yüksek olduğu alanların denize yakın olduğu ve denizden uzaklaştıkça değerlerde azalma olduğu görülmüştür. Aynı şekilde yeraltı suyunun SAR değerinin de deniz suyu girişiminden etkilenecek çok yüksek değerlere ulaştığı belirlenmiştir.

Deniz suyu karışım oranı ile yeraltı suyu kalite parametreleri arasında doğru orantı olduğu ve karışım oranının artması ile suyun özelliklerinin olumsuz yönde etkilendiği belirlenmiştir.

Deniz suyu girişimi ile yeraltı suyunun RSC değeri arasında her hangi bir ilişkinin olmadığı bulunmuş ancak RSC ile pH, HCO<sub>3</sub> ve SAR değeri arasında önemli bir ilişkinin olduğu görülmüştür. Deniz suyu girişimi ile RSC değeri arasında önemli bir ilişki olmamasına rağmen, deniz suyu girişiminden etkilenen SAR ve HCO<sub>3</sub> değerinin artması ile suyun RSC değerinin arttığı belirlenmiştir.

Bafra ovasında özellikle denize yakın olan alanlarda aşırı yeraltı suyu çekimi yapıldığı gözlemlenmiştir. Son yıllarda ovada çeltik tarımının artması nedeniyle su talebinde bir artış olmuştur. Aşırı suyun yeraltından sağlanması durumu ise tatlı su - tuzlu su dengesinde bozulmaya sebep olmuş ve deniz suyu girişimi artmıştır.

Deniz suyu girişiminin gerçekleştiği bir aküferi ıslah ederek eski haline döndürmek çok uzun zaman almakta ve çok maliyetli bir çalışma istemektedir. Bu nedenle alınacak ilk ve en önemli tedbir kuyulardan çekilen sulama suyu miktarını ayarlamak ve aşırı yeraltı suyu çekimi yapılmasını önlemektir. DSİ tarafından ovada yürütülen sulama ve drenaj projesi son safhasına gelmiştir. Sulama şebekesi tamamlandıktan sonra denize uzaklık farkı gözetmeksizin yeraltı suyunun kesinlikle kullanılmaması gerekmektedir. Bu durumda sulama şebekesinin tamamlanması ile verilecek olan yıkama suyunun ve yağışların, deniz suyu girişimi neticesinde tuzlanmış olan yeraltı suyunu tekrar eski haline döndüreceği düşünülmektedir.

Bafra Ovası sağ sahilinde deniz suyu girişimine maruz kalan bölümlerde aküferin tatlılaşması için yeraltı suyu çekiminin en kısa zamanda durdurulması gerekmektedir. Deniz suyu girişimine maruz kalabilecek diğer kıyı alanlarında ise beslenmeye göre bir yeraltı suyu çekim oranının ayarlanması gerekmektedir.

#### 5. KAYNAKLAR

- Anaç, D., Okur, B., Anaç, S., Aksoy, U., Kılıç, C., Kapar, A., 1997. Effect of sea water intrusion on soil salinity. Interdisciplinary Strategies for Development of Desert Agriculture. Proceedings of the First Regional Conference. (23–26 February 1997, Sede-Boker Campus, Israel).
- Andreasan, D.C., Fleck, W.B., 1997. Use Of Bromide–Chloride Ratios To Differentiate Potential Sources Of Chloride in A Shallow, Unconfined Aquifer Affected By Brackish-Water Intrusion. Hydrogeology Journal, P. V.5.
- Anonymous, 1954. Diagnosis And Improvement Of Saline And Alkali Soils. U. S. Dept. of Agric. No: 60, USA
- Anonymous, 1954. U.S.Salinity Lab. Staff. Diagnosis and improvement saline and alkali soils. Agriculture Handbook 60, USA.
- Anonymous, 1987. Bafra Ovası Planlama Revizyon Raporu, DSİ VII. Bölge Müdürlüğü, Samsun
- Anonymous, 2006. Earth's water distribution. Water Science for Schools.<http://ga.water.usgs.gov/edu/waterdistribution.html>
- Ayyıldız, A., 1990. Sulama Suyu Kalitesi ve Tuzluluk Problemleri. Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Ders Kitabı 344, Ankara.
- Custodio, E., 1987. Ground Water Problems In Coastal Areas. In: Studies And Reports in Hydrology (UNESCO).



- Delleur, J.W., 1999. The Handbook of Groundwater Engineering, (ed. Delleur, J.W.) CRC Pres.
- Eaton, F.M., 1950. Significance Of Carbonates In Irrigation Waters Soil. Sci. 69: 123-133
- Ekmekçi, M., 2008. Tuzlu Su Girişimi Problemlerinde İzotop Tekniklerinin Kullanılması, III. Ulusal Hidrolojide İzotop Teknikleri Sempozyumu, 285-291, Ankara
- FAO, 1997. Seawater Intrusion in The Coastal Aquifers. Guidelines, for Study, Monitoring And Control. FAO, Rome
- Gualbert, H. P. Oude Essink., 2001. Improving fresh groundwater supply—problems and solutions, Ocean & Coastal Management Volume 44, Issues 5-6 , 2001, Pages 429-449.
- Kanber, R., Kırdı, C., Tekinel, O., 1992. Sulama Suyu Kalitesi ve Sulamada Tuzluluk Sorunları, Ç.Ü.Ziraat Fakültesi Yayın No:21 Ders Kitabı Yayın No:6, Adana.
- Kim, O., Park, H., 1998. Variation of Hydrochemical Characteristic of Major Elements in Groundwater by the Seawater Intrusion in the Byeonsan Peninsular, Korea, Geosystem Eng., 1(2), 106-110
- Kurttaş, T., 2002. Karışım Sularında Kökensel Katkıların Belirlenmesi, Hidrolojide İzotop Tekniklerinin Kullanılması Sempozyumu, DSİ Genel Müdürlüğü, Adana.
- Richter, B.C. ve Kreitler, C.W., 1993. Geochemical Techniques for Identifying Sources of Ground Water Salinization. CRC Press, Inc. Boca Raton, USA.
- Somay.A.M., Filiz, Ş., 2006. Küçük Menderes Nehri Kıyı Sulak Alanının Hidrojeokimyasal Değerlendirmesi, Geosound, Adana, Turkey
- Yurtseven, E. , 1995. Sulanan Alanlarda Tuzlulaşma Ve Tuzluluk Yönetimi. V.Ulusal Kültürteknik Kongresi Bildirileri, Antalya, S.483-502, Kültürteknik Derneği, Ankara.
- Zakhem, B.A., Hafez, R., 2007. Environmental İsope Study Of Seawater İntrusion İn The Coastal Aquifer (Syria), Environ Geol (2007) 51:1329–1339